

令和 3 年 5 月 16 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K07928

研究課題名(和文) 水流による浮遊・遊泳補助を利用したマダコ種苗生産技術の開発

研究課題名(英文) Development of seed production technology of common octopus based on control of the water flow environment

研究代表者

團 重樹 (Dan, Shigeki)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：20443369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：これまで不可能とされてきたマダコの種苗生産について、浮遊期幼生の遊泳に及ぼす水流環境の影響を調査し、幼生にとって不適または適正な水流条件を解明した。この結果に基づき、幼生の遊泳を補助可能な上昇流を連続的に発生させる水流飼育装置を開発した。また、アルテミアをマダコ幼生に給餌すると、アルテミアの遊泳毛が変形して複数個体同士が絡まり合う現象が発生することを明らかにした。アルテミアに代わる餌料として、ガザミのゾエア幼生が有効であることを比較給餌実験によって明らかにした。これらの結果を総合し、水流装置の使用とガザミゾエアの給餌を組み合わせることで、高い生残率を実現可能なマダコの種苗生産技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によってマダコの着底稚ダコの人工生産が可能になった。この成果は、これまで稚ダコの生産が不可能であったために着手できなかったマダコの養殖や人工種苗の放流による天然資源の維持・増殖を可能にするものである。また、未解明なままであるマダコの稚ダコ期の生態について、人工生産した稚ダコを用いた研究アプローチの方法を提供するものである。さらに、本技術は他の頭足類稚仔の飼育にも応用可能であり、頭足類の飼育、生態解明、ならびに増養殖技術の開発に広く貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop the seed production technology of the common octopus. We assessed the effect of water flow condition on paralarval swimming behaviour under the controlled rearing conditions and revealed the appropriate water flow condition based on the paralarval response to the water flow conditions. An upwelling rearing system, which can support paralarval swimming, was newly developed and this system could improve largely the paralarval survival. We also found that the Artemia is not an appropriate prey for the paralarvae, because the paralarvae induce flocculation of Artemia and death. Instead, we confirmed that swimming crab zoea has great potential as a food for paralarvae. Combination of use of the upwelling system and supplying swimming crab zoeae achieved production of the benthic juveniles with high survival rate and fast growth. Thus, we succeeded in developing the reliable seed production technology for the common octopus.

研究分野：水産増養殖学

キーワード：頭足類 幼生 遊泳行動 水流 行動生態 アルテミア ガザミ

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

マダコは重要な水産資源であるが、主要な産地である瀬戸内海では1990年代には1万トンを超えていた漁獲量は、近年0.3万トンレベルにまで減少している。また、世界的なマダコ消費の増加に伴い1990年代には年間10万トン程度であった輸入量も、近年は5万トン以下にまで落ち込んでいる。マダコの資源保全や養殖による安定供給が求められているが、マダコの浮遊期幼生は飼育が難しく、種苗（着底稚マダコ）の安定生産に成功した例はない。先行研究では、マダコ幼生は海産魚介類の種苗生産で一般に使用されるアルテミア（甲殻類プランクトン）を活発に摂餌するものの、アルテミアを与えて飼育するとほとんどの事例で成長しないまま死亡してしまうことが報告されている。

2. 研究の目的

本研究は、人工飼育下におけるマダコ幼生の死亡原因を把握し、その対策技術を開発することを目的とした。予備的研究において、我々は飼育水槽内のエアレーション（海水に酸素を供給する通気装置）によって生じる水流がマダコ幼生の遊泳と摂餌を阻害している可能性を見出した。そこで、まず水流が幼生の遊泳行動に及ぼす影響の解明を目的とした実験に取り組んだ。次に、マダコ幼生の飼育に適した飼育装置の開発を実施した。さらに、アルテミアを給餌する際の問題点を明らかにするとともに、マダコ幼生の飼育に適した餌料の探索と開発を行った。

3. 研究の方法

課題1：水流環境がマダコ幼生の遊泳行動に及ぼす影響

水流の向きと強さを調節可能な、300mL容の円柱型水流発生装置を10基作成した（写真1）。瀬戸内海中央部においてタコソボ漁で漁獲された雌マダコ3個体からふ化したマダコ幼生を、3つの500L水槽に約1,200個体ずつ収容して飼育した。これらの飼育水槽から0、5、10、および15日齢に達したマダコ幼生をサンプリングし、各水流発生装置の中に1個体ずつ収容して装置内におけるマダコ幼生の行動を20分間ビデオ撮影した。実験容器内の水流条件を、流速-11.3、-9.0、-6.8、-4.5、0.0、4.5、6.8、9.0、11.3、および13.5mm/秒（負の値は下降流、正の値は上昇流を表す）に設定した。それぞれの条件下で日中（5個体×3親、合計15個体ずつ）と夜間（3個体×3親、合計15個体ずつ）に撮影を行った。撮影後、使用したマダコ幼生の乾燥重量を測定した。撮影データについて、装置内のマダコ幼生の12秒ごとの垂直位置を記録し、遊泳位置（実験容器最上部からの距離）に及ぼす水流（流速）の影響を一般化線形モデルで解析した。



写真1 水流実験装置

課題2：マダコ幼生の飼育に適した飼育装置の開発

課題1の結果をもとに、マダコ幼生の遊泳を補助すると予想される水流環境を作出可能な水流飼育装置の開発に取り組んだ。飼育装置の有効性を評価するために、500L規模の水流飼育装置と一般的な飼育装置にそれぞれ約1200個体のマダコ幼生を収容して20日間飼育した。3個体の雌マダコからふ化した幼生を用いて、各試験区3水槽ずつで実験を行った。マダコ幼生の餌として、DHAとEPAを栄養強化したアルテミアを給餌した。マダコの日間死亡個体数、実験終了時の生残個体数、および5日毎の乾燥重量を成長の指標として測定した。

課題3：アルテミア給餌の問題点と適正餌料の探索

アルテミアをマダコ幼生飼育水槽へ添加すると複数個体のアルテミアが絡まり合って死亡してしまう凝集現象に着目し、マダコ幼生がアルテミアの凝集に及ぼす影響について検討した。ふ化直後（0日齢）から20日齢の間の成長段階が異なるマダコ幼生を、アルテミアふ化ノープリウス、または3日培養メタノープリウスと24時間にわたって同一容器内で共存させる実験を行った。共存終了後にマダコのアルテミア摂餌数とアルテミアの凝集率を求めた。また、アルテミアのみを容器に収容し、マダコ幼生を共存させない対照区を設けた。凝集現象の発生要因を把握するために、凝集したアルテミアの外部形態を走査電子顕微鏡で撮影して観察した。

天然海域において、マダコ幼生は十脚甲殻類の幼生を主餌料としていることが報告されている。そこで、アルテミアに代わるマダコ幼生用の餌料として、ガザミのゾエア幼生の有効性を検討した。水量3Lの小型水流飼育装置を作成し、ゾエアのみを給餌する区、アルテミアのみを給餌する区、ゾエアとアルテミアを7:3、5:5、および3:7の割合で混合給餌する区を設けた。また、ゾエアの栄養価を維持する目的で、ゾエア給餌と栄養強化ワムシの添加を組合せる試験区も設定した。各区3水槽ずつ用意し、2個体の雌マダコからふ化した幼生を用いて実験を繰り返した。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

た。マダコの生残個体数を毎日調査し、実験終了時には乾燥重量を測定した。

課題4：開発した種苗生産技術の検証

課題2と3で有効性が示された水流飼育装置とガザミゾエアの給餌を組合せて、稚ダコの種苗生産試験を実施した。飼育水量500Lの水流飼育装置3基にそれぞれ約1200個体のマダコ幼生を収容し、ゾエアを給餌して23日間の飼育を行った。ゾエアが不足した場合には一時的に栄養強化アルテミアを給餌した。マダコの日間死亡個体数、実験終了時の生残個体数、および乾燥重量(5日毎)を測定した。

4. 研究成果

課題1：水流環境がマダコ幼生の遊泳行動に及ぼす影響

実験に供した0、5、10、および15日齢のマダコ幼生の平均乾燥重量はそれぞれ0.48、1.12、2.73、および5.51mgであった。水流と幼生遊泳位置の間には明確な関係が認められた。若齢の幼生は、水流がない条件下(0.0mm/秒)でも昼夜ともに上層に位置する傾向があった(図1)。そして、幼生の遊泳位置は下降流が強くなるほど下方に、上昇流のもとでは上方へと変化した。15日齢になると、幼生は水流に関係なく日中は中層、夜間は上層に位置していた。これらの結果から、若齢のマダコは水流に抗って泳ぐ力が弱く、上方向への遊泳を補助するためには、本実験において安定して上層へ定位可能であった6.8mm/秒以上の上昇流が有効であると考えられた。

課題2：マダコ幼生の飼育に適した飼育装置の開発

上昇流を連続的に発生可能な主流飼育装置を開発した(図2)。500L円形水槽2面をホースで接続し、片方の水槽を飼育水槽、他方を隔離水槽とした。隔離水槽に送水ポンプを設置し、塩ビ管を介して飼育水槽の底面中央に10L/分の強さで海水を吹き付けるようにした。送水した海水は連結ホースから隔離水槽へ戻って循環するようにした。エアレーションは隔離水槽にのみ設置した。水流装置内におけるマダコ幼生の遊泳状況を観察したところ、比較的水流が緩やかな上層部に留まって幼生が遊泳し、沈降し難い環境が創出されていることを確認した。一般的なエアレーションを設置した水槽と水流飼育装置を用いて20日間にわたって比較飼育を行ったところ、一般的な水槽における生残率(14.6%)と比較して、水流装置では有意に高い生残率(51.6%)が得られ、水流飼育装置の有効性が示された。成長については飼育装置の違いによる影響は認められなかった。

課題3：アルテミア給餌の問題点と適正餌料の探索

マダコ幼生が成長するとともにアルテミアの凝集率が高くなる傾向が認められ、ふ化ノープリウスと比較してメタノープリウスの凝集率が高かった。また、マダコ幼生の不在下ではアルテミアの凝集は認められなかった。マダコ幼生は共存するアルテミアの一部を摂餌しており、アルテミアの凝集現象はマダコ幼生の摂餌に伴う消化液の体外への分泌と関連しているものと推察された。凝集したアルテミアの外部形態を走査電子顕微鏡で撮影して観察したところ、触覚や鰓脚の剛毛(setae)に生える細毛(setules)の先端がかぎ状に変形していることが確認され、変形した細毛同士が絡まり合うことが凝集現象の原因であると推察された。凝集したアルテミアは正常に遊泳できず沈降するため著しく餌料価値が低下することから、アルテミアを餌としてマダコ幼生を飼育するためには、凝集現象の防除が重要であることが示された。

一方、ゾエアはアルテミアと比べて密集した細毛が少なく、マダコ幼生との共存下でも凝集現象を起こさないことを確認した。ガザミゾエアを与えてマダコ幼生を飼育したところ、アルテミアを与えた場合と比較して成長と生残が向上した(図3)。また、ガザミゾエアに栄養強化ワ

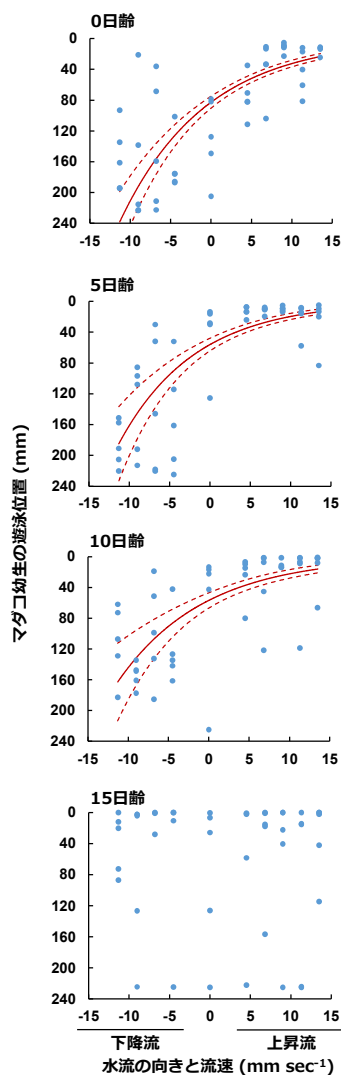


図1 水流条件とマダコ幼生の遊泳位置の関係

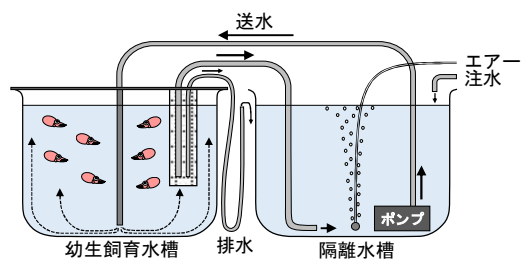


図2 マダコ幼生の飼育のために開発した水流飼育装置

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

ムシを与えながらマダコ幼生を飼育することでより早い成長が得られた。これらの結果から、ガザミゾエアはマダコ幼生を飼育するうえで有効な餌料であることが示された。

課題4：開発した種苗生産技術の検証

水流飼育装置とガザミゾエアの給餌を組合せた種苗生産試験を実施した結果、飼育開始23日目にはほとんどの個体が遊泳を止めて水槽底面や壁面への付着行動を示し、ふ化から23日齢までの生残率は74~83% (平均生残率77%、生存個体数872~1007個体)であった。これらの稚ダコは、解凍したアキアミのミンチなどの生餌を水槽底で活発に摂餌したことから、種苗生産の過程を完了した着底稚ダコに到達したものと解釈した。

まとめ

本課題で開発した水流飼育装置を用い、栄養価を維持したガザミゾエアを給餌することで、高い生残率で着底稚ダコを生産可能なマダコの種苗生産技術の開発に成功した。

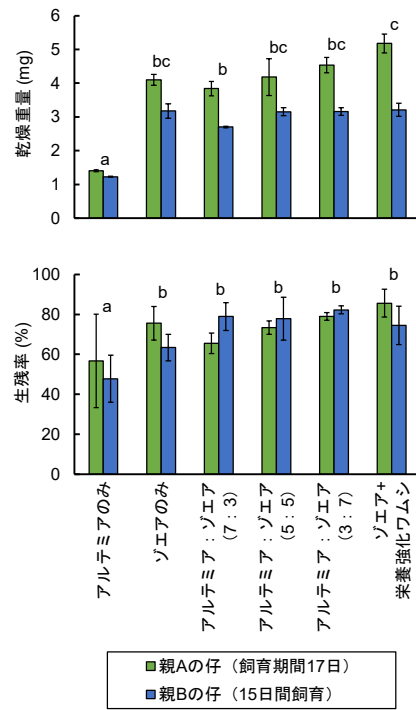


図3 ガザミゾエアとアルテミアの給餌がマダコ幼生の成長と生残に及ぼす影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Dan Shigeki, Takasugi Arata, Iwasaki Hiraku, Shibasaki Shodai, Yamashita Kazuhiro, Hamasaki Katsuyuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Flocculation of Artemia induced by East Asian common Octopus octopus sinensis paralarvae under culture conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquaculture Reports	6. 最初と最後の頁 100330 ~ 100330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aqrep.2020.100330	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Dan Shigeki, Iwasaki Hiraku, Takasugi Arata, Yamazaki Hideki, Hamasaki Katsuyuki	4. 巻 495
2. 論文標題 An upwelling system for culturing common octopus paralarvae and its combined effect with supplying natural zooplankton on paralarval survival and growth	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Aquaculture	6. 最初と最後の頁 98 ~ 105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquaculture.2018.05.036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Dan Shigeki, Iwasaki Hiraku, Takasugi Arata, Shibasaki Shodai, Yamazaki Hideki, Oka Masakazu, Hamasaki Katsuyuki	4. 巻 50
2. 論文標題 Effects of co-supply ratios of swimming crab Portunus trituberculatus zoeae and Artemia on survival and growth of East Asian common octopus Octopus sinensis paralarvae under an upwelling culture system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aquaculture Research	6. 最初と最後の頁 1361 ~ 1370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/are.14013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Dan Shigeki, Takasugi Arata, Shibasaki Shodai, Oka Masakazu, Hamasaki Katsuyuki	4. 巻 54
2. 論文標題 Ontogenic change in the vertical swimming of East Asian common octopus Octopus sinensis paralarvae under different water flow conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aquatic Ecology	6. 最初と最後の頁 795 ~ 812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10452-020-09777-7	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山下和宏、團 重樹、浜崎活幸
2. 発表標題 アルテミアの微細藻類に対する摂餌特性
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

水産研究教育機構広報誌FRAnews54「海産無脊椎動物の増養殖研究 マダコ養殖に向けて」 http://www.fra.affrc.go.jp/bulletin/news/fnews54.pdf
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	濱崎 活幸 (Hamasaki Katsuyuki) (90377078)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	岡 雅一 (Oka Masakazu) (30426308)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・瀬戸内海区水産研究所・センター長 (82708)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------